Das Erfrieren von Pflanzen bei Temperaturen über dem Eispunkt

von

Hans Molisch,

c. M. k. Akad.

Aus dem pflanzenphysiologischen Institute der k. k. deutschen Universität in Prag.

I.

Sachs[1] hat zuerst die interessante Thatsache festgestellt, dass Pflanzen aus südlicher Heimat, wie Tabak, Kürbis, Fisole, falls ihre Wurzeln auf eine knapp über dem Nullpunkt liegende Temperatur abgekühlt werden, während die Blätter noch reichlich transpiriren, zu welken beginnen und bei genügend langer Dauer der Abkühlung schliesslich durch Vertrocknen absterben. Die Wurzeln der genannten Pflanzen verlieren nämlich nach Sachs bei niederen Temperaturen die Fähigkeit, Wasser in genügender Menge aufzunehmen und vermögen daher das von den relativ noch reichlich transpirirenden Blättern abgegebene Wasser nicht zu ersetzen. Durch Erwärmung des die Wurzeln umgebenden Bodens werden die Wurzeln wieder leistungsfähiger, sie nehmen wieder genügend Wasser auf und die Blätter werden alsbald turgescent. Von der Richtigkeit dieser durch Sachs bekannt gewordenen Thatsachen habe ich mich zu wiederholten Malen überzeugt und ich begnüge mich daher mit dem vorangehenden Hinweis auf dieselben.

Bei den Sachs'schen Versuchen handelt es sich um ein Erfrieren von Pflanzen über Null in Folge von Verwelken.

---

[1] J. Sachs, Landwirthschaftl. Versuchsstationen, 1865, Heft 5, S. 195, ferner dessen »Gesammelte Abhandlungen«, I. Bd., S. 47.

Davon soll in dieser Abhandlung nicht die Rede sein, hier soll vielmehr die Frage einer experimentellen Prüfung unterzogen werden, ob es nicht auch Pflanzen gibt, die bereits bei niederen, über dem Eispunkt liegenden Temperaturen absterben, jedoch unabhängig von der Transpiration.

Diese Frage ist schon einige Male aufgeworfen, mehrmals bejaht und mehrmals verneint, aber wegen mangelhaft durchgeführter Versuche bisher für keine einzige Pflanze entschieden worden.

Zu den ältesten einschlägigen Angaben gehören die von Cl. Bierkander.[1] Nach diesem Autor werden *Cucumis sativus*, *Cucumis Melo*, *Cucurbita Pepo*, *Impatiens Balsamina*, *Mirabilis longiflora*, *Ocimum basilicum*, *Portulaca oleracea* und *Solanum tuberosum* bei 1—2° über dem Eispunkt getödtet.

Ferner hat Goeppert,[2] als er 28 verschiedene, wärmeren Gegenden angehörige Gewächse an einem windstillen Ort vom 9.—14. December in Luft, deren Temperatur zwischen 1—3° schwankte, aufstellte, einzelne schwarze Flecken an den Blättern mit darauffolgendem Zusammenrollen und Abfallen derselben bemerkt. Es war dies der Fall bei *Gloxinia maculata*, *Heliotropium peruvianum*, *Thunbergia capensis* und einigen anderen. Goeppert war jedoch kritisch und einsichtsvoll genug, um aus diesem Versuch bestimmte Schlüsse zu ziehen, weshalb er auch ausdrücklich bemerkt: »Jedoch ist die Zahl dieser Versuche noch viel zu gering, als dass sich aus ihnen ein entscheidendes Resultat entnehmen liesse«.

Hardy[3] hatte 1844 56 tropische, im freien Lande stehende Holzgewächse auch während des Herbstes weiterhin im Freien belassen und die Wärmeausstrahlung durch Bedecken mit

---

[1] Cl. Bierkander, Bemerkungen über einige Gewächse und Bäume, die bei grösserer oder geringerer Kälte um Abo beschädigt oder getödtet werden; in den königl. schwedischen akad. Abhandl. für das Jahr 1778, übersetzt von Kastner, 40. Bd., 1783, S. 55—58. Citirt nach Goeppert's Wärmeentwicklung, S. 124.

[2] H. R. Goeppert, Über die Wärmeentwicklung in den Pflanzen etc. Breslau 1830, S. 42—43.

[3] Im Auszuge mitgetheilt in der Botan. Zeitung, 1854, S. 202—203.

Schilfdecken zu hemmen gesucht. Unter diesen Verhältnissen sollen mehrere (*Hymenaea Courbaril, Crescentia Cujete, Bauhinia anatomica, Desmodium umbellatum* etc.) bei +5°, zahlreiche bei 3° (*Acacia stipularis, Bixa Orellana, Adenanthera pavonia* etc.) abgestorben sein, während 31 Arten (*Dracaena Draco, Euphorbia splendens, Caesalpinia Sappan*) auch +1° (wahrscheinlich des 100theiligen Thermometers) ausgehalten haben.

Zu wiederholten Malen wurde mit vollem Rechte darauf hingewiesen,[1] dass die erwähnten Versuche Bierkander's, Goeppert's und Hardy's leider nicht beweiskräftig seien, da man auf die Transpiration, auf die Wärmeausstrahlung und die Ablesung der Temperatur zu wenig Rücksicht genommen hat. Maximum- und Minimumthermometer scheint man nicht verwendet zu haben, was doch bei so langer Versuchsdauer durchaus nothwendig gewesen wäre, da namentlich während der Nacht die Temperatur erheblich gesunken sein dürfte. Auch ist darauf Gewicht zu legen, dass die Thermometerkugeln zum Mindesten die Blätter berühren, um die Temperatur der doch fort und fort Wärme ausstrahlenden Blätter möglichst annähernd zu bestimmen. Aber selbst zugegeben, es wären die angedeuteten Fehler nicht vorhanden gewesen, so ist es immerhin möglich, dass hier ein Absterben aus denselben Gründen stattgefunden hat, wie in den am Beginne dieser Arbeit erwähnten Experimenten von Sachs: Es konnten nämlich die Pflanzen, da für Ausschluss der Transpiration nicht gesorgt war, die Wurzeln aber bei vielen Pflanzen in Folge niederer Temperatur zu wenig Wasser aufnehmen, verwelkt sein. Dies wird sogar für manche dieser Pflanzen gewiss, weil Sachs gerade bei einigen dieser Gewächse das Absterben bei niederen, über 0° liegenden Temperaturen auf ein Verwelken zurückführen konnte.

Am meisten Beachtung verdienen noch die Versuche von Kunisch[2] mit einer *Coleus*-Varietät. Dieser stellte drei junge,

---

[1] Vergl. insbesonders Sachs J., Experimentalphysiologie, S. 57—58, ferner Pfeffer W., Pflanzenphysiologie, II, S. 439.

[2] H. Kunisch, Über die tödtliche Einwirkung niederer Temperaturen auf die Pflanzen. Inaugural-Dissertation, Breslau 1880, S. 14—16.

gut bewurzelte Pflanzen in einem gemauerten, mit einem Holzdeckel verschliessbaren Wasserbehälter derart auf, dass sie auf umgestürzten Blumentöpfen, welche 3 *cm* über die 32 *cm* tiefe Wasserschichte emporragten, standen. Die Temperatur betrug im Durchschnitt 4·2° R. und schwankte zwischen 2 und 7° R. Der Feuchtigkeitsgehalt der Luft variirte zwischen 76·5 und 80·7 %. Unter diesen Umständen zeigten bereits nach 24 Stunden die Pflanzen an den Rändern und Spitzen der Blätter eine merkliche Braunfärbung und zwei Tage darauf war die Verfärbung noch weiter vorgeschritten, die Blätter begannen sich einzurollen und nahmen in Folge dessen ein muldenförmiges Aussehen an.

Kunisch glaubt nun aus diesem Versuch, sowie aus einem analogen mit einem *Coleus*-Zweig bestimmt schliessen zu dürfen, dass hier ein Absterben in Folge directer Einwirkung niedriger Temperatur und nicht eine Transpirationserscheinung im Sinne von Sachs vorliegt. Auch ich bin geneigt, das Absterben des *Coleus* in der Weise wie Kunisch zu deuten, aber eine bestimmte Schlussfolge lässt sein Experiment nicht zu, da die Luft des Versuchsraumes weit davon entfernt war, mit Wasserdampf gesättigt zu sein (76·5—80·7 %!) und weil er es verabsäumt hatte, Controlpflanzen bei höherer Temperatur im finsteren Raume unter annähernd gleichen Feuchtigkeitsverhältnissen der Luft aufzustellen.[1]

Aus dem historischen Abriss geht hervor, dass vorläufig kein einziger beweisender Versuch über unsere Frage vorliegt. Dies betont auch Pfeffer, indem er sagt, es sei nicht unmöglich, »dass empfindliche Pflanzen schon durch eine den Nullpunkt nicht erreichende Erniedrigung der Temperatur geschädigt werden können. Entscheidende Versuche gibt es aber nicht....[2]

II.

Wenn es kälteempfindliche Pflanzen gibt, die bereits ober Null bei Ausschluss der Transpiration erfrieren, dann ist es von

---

[1] Vergl. auch die kritische Beurtheilung bei Sorauer, Handbuch der Pflanzenkrankheiten, II. Aufl., I. Th., S. 314.

[2] Pfeffer W., Pflanzenphysiologie, II. Bd., S. 437.

vorneherein wahrscheinlich, dass diese unter den tropischen oder allgemeiner gesagt wärmeren Klimaten angehörigen Gewächsen am ehesten zu finden sein dürften, da diese Pflanzen im Laufe der Zeit keine Gelegenheit fanden, sich niederen Temperaturen anzupassen.

Wer mit aufmerksamem Blick durch die mit tropischen Pflanzen reich gefüllten Gewächshäuser gewöhnlicher und botanischer Gärten wandert, dem wird nicht entgehen, dass gewisse Gewächse bei ungenügend hoher Temperatur alsbald zu kränkeln anfangen und schliesslich theilweise oder vollends absterben. Indem ich solche mir als verdächtig erscheinende Pflanzen genauen Versuchen unterwarf, gelang es mir, einige Gattungen ausfindig zu machen, über deren Erfrieren über Null, und zwar bei Ausschluss jeder Transpiration, kein Zweifel obwalten kann. Ich beginne die Schilderung meiner Versuche mit einer gegen niedere Temperaturen ausserordentlich empfindlichen Pflanze, und zwar mit

Episcia bicolor Hook. **Physodeira bicolor.** (**Gesneriacee.**)

Erster Versuch. 12. December 1895. Die Versuchspflanzen, etwa 80 an Zahl, wurden in einem Warmhause bei 15—20° C. (im Winter) gezogen und befanden sich hier sehr wohl.

10 Stück Topfpflanzen, von denen jede 5—10 Blätter im Durchschnitt hatte, wurden auf glasirte Thonschalen gestellt, mit grossen, innen mit nassem Filtrirpapier ausgekleideten Glasglocken bedeckt und mit Wasser abgesperrt. Damit die Blumentöpfe nicht in die Sperrflüssigkeit tauchen, stellte ich die Töpfe nicht direct auf die Thonschale, sondern zunächst auf kleine Thonuntertassen.

Unter zwei Glocken kam je ein Maximum- und Minimumthermometer, und zwar so, dass die Thermometerröhre die Blätter unmittelbar berührte. Überdies hingen Normalthermometer auch zwischen den Glocken.

Der Versuch fand in einem mit Gewächsen der verschiedensten Art voll gefüllten Gewächshause statt, dessen Temperatur zwischen 2·5° C. und 4·4° C. schwankte und zumeist eine Durchschnittstemperatur von 3° C. hatte. Hinzu-

gefügt sei noch, dass die Versuchspflanzen in einer gut ausgewärmten, vollkommen verschliessbaren Holzkiste stets bei Temperaturen ober Null aus dem Warmhaus in das Kalthaus, beziehungsweise in das Zimmer übertragen wurden, wobei selbstverständlich sehr dafür gesorgt wurde, dass sie beim Transport keinerlei Schaden erlitten. Die Pflanzen standen im starken diffusen Licht.

Zum Vergleiche standen ebenso viele Controlexemplare an einem Zimmerfenster unter sonst gleichen Verhältnissen, jedoch bei einer Temperatur von 13—18·5° C.

Der Effect war im höchsten Grade überraschend. Während die warm stehenden Pflanzen während der ganzen Versuchsdauer, also durch eine Woche und, wie ich hinzufügen kann, auch weiterhin vollständig gesund blieben, waren alle kalt stehenden Pflanzen schon nach 24 Stunden, einzelne schon nach 12 Stunden angegriffen: die meisten Blätter hatten zahlreiche, meist hellergrosse braune Flecken, viele Blätter waren zur Hälfte, 11 Blätter bereits ganz braun.

Nach 48 Stunden hatte die Verfärbung der Blätter weitere Fortschritte gemacht und vier Tage nach Beginn des Versuches hatten die Blattspreiten ihre ursprüngliche grüne Farbe nahezu ganz eingebüsst, sie waren nunmehr, abgesehen von einzelnen kleinen Stellen, ganz braun.

Auffallend war mir anfangs, dass die braungewordenen Blätter am Ende des Versuches anscheinend noch turgescent waren. Die Sache klärte sich jedoch bei der mikroskopischen Untersuchung bald auf, denn es zeigte sich, dass zwar die meisten Zellen, wie sich aus ihrem Aussehen, aus der Verfärbung, aus dem Ausbleiben der Plasmolyse und aus der raschen Farbstoffspeicherung durch das Plasma ergab, abgestorben, die Blattrippen und der Blattstiel aber lebendig geblieben waren. Es war also die todte Oberhaut und das todte Mesophyll zwischen den steifen lebenden Blattrippen ausgespannt, und dieser Umstand verleiht dem erfrorenen Blatt noch den Charakter eines turgescenten.

Das Blatt von *Episcia* besteht aus einer meist einschichtigen Oberhaut, einem einschichtigen Palissaden- und einem vielschichtigen Schwammparenchym. Die grünen Palissaden-

zellen nehmen ganz besonders tiefbraune Färbung an und verrathen dadurch das Absterben der Blätter schon frühzeitig dem freien Auge. Etwas länger erhalten sich am Leben die grossen, langen, kegelartigen Haare, während die kurzstieligen Köpfchenhaare viel früher absterben.

Grosse Resistenz bekunden auch die Schliesszellen der Spaltöffnungen.[1] Während die gewöhnlichen Epidermiszellen schon längst dem Tode anheimgefallen sind, erhält sich die Mehrzahl der Schliesszellen lange Zeit lebendig. Trotz der relativ lange intact bleibenden Haare, Schliesszellen und des sich lebend erhaltenden Blattstieles ist ein einmal braun gewordenes *Physodeira*-Blatt begreiflicherweise nicht mehr functionsfähig und geht schliesslich völlig zu Grunde.

Zweiter Versuch. 20. December 1895. Dasselbe Experiment wie vorher, doch kamen über die Glasglocken noch schwarze Dunkelstürze aus Pappe, so dass der Versuch nicht nur bei völliger Ausschliessung der Transpiration, sondern überdies noch bei Ausschluss von Licht und möglichster Behinderung[2] der Wärmeausstrahlung ablief. Obwohl die Temperatur laut Angabe der die Blätter berührenden Thermometer in dem vorhergehenden Versuche während der ganzen Zeit nicht unter +2° C. sank, gebrauchte ich hier überdies noch die Vorsicht, die Wärmeausstrahlung der Pflanze auf ein Minimum zu reduciren, um jedem Einwand von vorneherein zu begegnen. Die Temperatur schwankte zwischen +3 bis +5° C. und bei den im Zimmer warm stehenden Pflanzen zwischen +13 bis +18° C. Das Resultat war im Wesentlichen so wie bei Versuch 1.

Schon nach 24 Stunden waren namentlich die jüngeren Blätter braunfleckig, viele, besonders von den ältesten, noch unversehrt. Nach fünf Tagen waren nahezu alle Blätter der der niederen Temperatur ausgesetzten Pflanzen braun, nur einzelne hatten noch grüne gesunde Stellen, während die bei Zimmer-

[1] Über die relativ grosse Widerstandsfähigkeit der Schliesszellen verschiedener Pflanzenarten gegen Kälte werde ich eingehend an einem anderen Orte berichten.

[2] In manchen dieser Versuche verwendete ich sogar zwei übereinander gestülpte Pappstürze, deren handbreiter Zwischenraum überdies noch mit Watte ausgestopft war.

temperatur (15·2 bis 18° C.) unter sonst vollkommen gleichen Bedingungen befindlichen Controlpflanzen vollständig gesund blieben.

Dritter Versuch. Versuchsbedingungen genau wie bei dem eben geschilderten Experiment, doch wurde anstatt mit Topfpflanzen mit frisch gepflückten Blättern experimentirt. Je 20 Blätter wurden mit ihren Stielen in mit Leitungswasser gefüllte Gläser gestellt und wie im vorigen Versuch gegen Transpiration und Wärmeausstrahlung geschützt. Nach einem Tage waren die meisten der kalt stehenden Blätter mehr minder fleckig, nach drei Tagen, mit Ausnahme von zwei sehr alten, ganz braun. Die Controlpflanzen besassen noch nach acht Tagen ihre ursprüngliche grüne Farbe.

Vierter Versuch. Um zu eruiren, wie sich Blätter bei 0° oder sehr nahe über 0° verhalten, wurden Blätter in Eiswasser gelegt. In einem mit Wasser und Schnee gefüllten, vor Verdampfung und Wärmeausstrahlung geschützten Glasgefäss wurden 10 *Episcia*-Blätter untergetaucht. Das Glasgefäss war in Schnee vollständig eingesenkt. Da das Ganze im Kalthause bei einer Temperatur von 2 bis 5° C. aufgestellt blieb, so schmolz der Schnee nur äusserst langsam und es konnte die Temperatur des die Blätter umgebenden Wassers mit Leichtigkeit tagelang auf 0 bis + 1° C. erhalten werden. In ein anderes Wassergefäss kamen ebenfalls 10 Blätter, doch war die Temperatur des Wassers hier 15 bis 18·2° C. Während diese durch acht Tage vollkommen frisch und grün blieben, bekamen einzelne *Episcia*-Blätter im Schmelzwasser schon nach drei Stunden braune Flecke, nach 24 Stunden waren alle grossentheils oder vollständig verfärbt.

Nach dem Gesagten kann es wohl keinem Zweifel unterliegen, dass *Episcia* bei einer Temperatur von Null und bei 1 bis 5° C. über Null alsbald zu Grunde geht, auch wenn die Transpiration vollständig ausgeschlossen ist.

Ich brauche wohl nicht erst im Besonderen darauf einzugehen, dass das Absterben der *Episcia* bei niederen Temperaturen auch dann eintritt, wenn die Transpiration nicht vollständig ausgeschlossen ist. In dem Kalthause mit den früher angegebenen Temperaturen verfärbten sich z. B. Blätter in

1—3 Tagen, wenn die Pflanzen nicht unter Glasglocken, sondern bei einer Luftfeuchtigkeit von 93—99% ganz frei standen.

Ist die Temperatur höher als 6° C., dann ist *Episcia* schon ziemlich resistent, man kann dann 1—2 Wochen und noch länger die Blätter grün und frisch erhalten.[1]

---

[1] Es schien mir, da es sich beim Absterben von Zellen in Folge niederer, doch über 0° liegenden Temperaturen wahrscheinlich um Störungen im Stoffwechsel handelt, der Prüfung werth, ob nicht vielleicht bei Ausschluss von Sauerstoff die Schädigung trotz der niederen Temperatur unterbleibt. Obwohl die Versuche, die ich zu diesem Zwecke anstellte, keine Antwort auf die eben gestellte Frage zulassen, so theile ich doch das Wichtigste über diese Versuche mit, weil sie in anderer Beziehung lehrreich sind, nämlich in eclatanter Weise die relativ grosse Empfindlichkeit der Blätter gegen vollständigen Sauerstoffabschluss bekunden.

Zwei Glasröhren, jede von 20 *cm* Höhe und 3·3 *cm* innerer Weite wurden mit Leitungswasser gefüllt, mit je vier gleich alten, frisch gepflückten *Episcia*-Blättern beschickt und schliesslich mit dem offenen Ende unter Quecksilber, auf welchem sich noch eine Wasserschichte befand, getaucht. Sodann wurde das Wasser des einen Cylinders durch feuchte atmosphärische Luft, das des anderen durch feuchten reinen Wasserstoff verdrängt, welcher aus arsenfreiem Zink dargestellt und durch eine mit verdünnter Kalilauge gefüllte Waschflasche aus einem Kipp'schen Apparat zugeleitet wurde. Die mit Wasser, beziehungsweise Quecksilber abgesperrten Glasröhren wurden bei einer Temperatur von +3·5 bis +4·5° C. finster aufgestellt. Ganz derselbe Versuch lief gleichzeitig bei einer Temperatur von 15 bis 18° C. ab. Nach 24 Stunden zeigten, wie zu erwarten war, die »Luftblätter« im kalten Zimmer zahlreiche braune Flecken, welche sich später immer mehr und mehr vergrösserten, alle anderen Blätter zeigten sich scheinbar unversehrt. Ich war bereits geneigt, meine geäusserte Vermuthung als richtig zu betrachten, doch wurde ich bei Beendigung meines Experimentes bald eines Besseren belehrt. Als ich nämlich nach dreitägiger Versuchsdauer die noch scheinbar intacten »Wasserstoffblätter« aus den Röhren herausnahm, fiel mir auf, dass sie, obwohl im dunstgesättigten Raume befindlich, ziemlich schlaff waren, und dass sie sich in der Luft zusehends verfärbten. Binnen fünf Minuten hatten sich die Blätter braun gefärbt, und bei mikroskopischer Untersuchung ergab sich, dass ihre Zellen bräunlich gefärbt waren, ihr Inhalt desorganisirt und abgestorben erschien.

Weitere Versuche lehrten, dass schon 24stündiges Verweilen in Wasserstoff die Blätter tödtet, und zwar sowohl bei höherer (16—18° C.), als auch bei niederer Temperatur (+3 bis +5° C.). Daraus folgt, dass bereits ein eintägiger Sauerstoffabschluss die Blätter von *Episcia* vernichtet. Bei *Sanchezia nobilis* sah ich nach 48 Stunden in Wasserstoff das Absterben eintreten.

Versuche mit Sanchezia nobilis Hook. und einigen anderen Pflanzen.

Diese in Südamerika in der Nähe des Äquators und zwar in Ecuador heimische Acanthacee gehört nach meinen Beobachtungen ebenfalls zu den sehr kälteempfindlichen. Wenn auch nicht von jener Empfindlichkeit wie *Episcia*, sterben doch die Blätter von *Sanchezia* binnen wenigen Tagen theilweise oder vollends bei niederen, knapp über Null liegenden Temperaturen.

Ich stellte am 5. Jänner fünf kräftige Topfexemplare, die bisher im Warmhause bei einer Temperatur von 15—19° C. cultivirt wurden, in derselben Weise wie die *Episcia* im Versuch 1, und zwar geschützt gegen jedwede Transpiration und gegen Wärmeausstrahlung im Kalthause auf, wo während der Versuchszeit die Temperatur nicht über 4·2° C. stieg und nicht unter 1·5° C. sank. Nach 24 Stunden waren bereits an den meisten Blättern zahlreiche braune Flecken zu bemerken, die sich allmälig vergrösserten, so dass nach 4—6 Tagen der grösste Theil der Blattflächen braun und abgestorben war. Die Controlpflanzen hingegen blieben vollständig intact.

Die Versuche mit *Sanchezia* wurden ähnlich wie bei *Episcia* mannigfaltig variirt und gaben ganz übereinstimmende Resultate, weshalb ich von einer ausführlichen Wiedergabe meines Versuchsprotokolles absehe. Nur sei hervorgehoben, dass die Verfärbung der Blätter in der Regel etwas länger auf sich warten liess als bei *Episcia*, doch waren die Blätter in Eiswasser nach 48 Stunden gleichfalls schon abgestorben.[1] Bleibt

[1] Beim Absterben der *Sanchezia*-Blätter fiel mir namentlich an der Unterseite eine eigenartige blaue Verfärbung auf. Bereits A. G. Weiss (diese Sitzb., XC. Bd, Abth. I, 1884, S. 84; S. 6 des Separatabdr.: Über ein eigenthümliches Vorkommen von Kalkoxalatmassen etc.) erwähnt, wie ich nachträglich las, dass die grossen Cystolithen unserer Acanthacee oft durch einen intensiv blaugrünen Farbstoff gefärbt sind. Weiss war offenbar der Meinung, dass dieser Farbstoff schon in der unversehrten Pflanze präexistirt, dies ist jedoch, wie man sich leicht überzeugen kann, nicht der Fall. Wenn man die Unterseite eines frischen Blattes mit einer Nadel ganz leicht ritzt und die geritzte Stelle mit der Lupe im starken durchfallenden Lichte betrachtet, so erscheint sie etwas durchscheinend und hellgrün. Kurze Zeit darauf färben sich, man

die *Sanchezia* durch 2—4 Wochen und darüber der niederen Temperatur ausgesetzt, so geht auch der Stamm und schliesslich die ganze Pflanze zu Grunde.

Im Laufe des heurigen Winters konnte ich noch einige andere Pflanzen ausfindig machen, die sich niederen, über Null liegenden Temperaturen gegenüber so verhalten, wie *Episcia* und *Sanchezia*. Nur tritt das Absterben zumeist etwas später ein. Es gehören hieher: *Eranthemum tricolor* Nichols., *E. Couperi* Hook., *E. igneum* Linden und *Anoectochilus setaceus* Blume.

Blieben diese Gewächse bei vollständiger Unterdrückung der Transpiration im Kalthause diffusem Licht und einer zwischen 2—5° C. schwankenden Temperatur ausgesetzt, so gingen sie im Gegensatze zu den warm stehenden Controlpflanzen nach und nach vollständig zu Grunde, *Eranthemum tricolor* schon nach fünf Tagen, *E. Couperi* nach zwei Wochen, *E. igneum* nach einer Woche. Bei *E. Couperi* starben, ohne sich abzulösen, zuerst die jüngsten, noch in Entwicklung begriffenen Blätter ab, und zwar bereits nach sechs Tagen, dann kamen die älteren daran und nach zwei Wochen war auch der Stengel, soweit er noch nicht von Kork umhüllt war, schlaff und todt. Am resistentesten von den angeführten Pflanzen war noch *Anoectochilus setaceus*. Dessen Blätter zeigten zwar manchmal schon nach vier Tagen grössere Flecken, allein

---

kann dies leicht mit der Lupe verfolgen, einzelne kleine Pünktchen blau und nach wenigen Minuten erscheint die früher hellgrüne geritzte Stelle nahezu ganz dunkelblau.

Unter dem Mikroskop lässt sich leicht eruiren, dass es die farblosen Cystolithen sind, welche sich nach der Verletzung des Blattes an ihrer Oberfläche blaugrün färben. *Sanchezia*-Blätter enthalten demnach in den Cystolithenzellen ein Chromogen, welches beim Erfrieren oder bei mechanischer Verletzung der betreffenden Zellen einen blauen Farbstoff liefert. Dieser ist ausserordentlich labil, er verfärbt sich innerhalb der Zellen sehr rasch bei Einwirkung von verdünnten Säuren (HCl, SO_4H_2, HNO_3) und verschiedener verdünnter Alkalien und alkalischen Erden (KOH, NH_3, Kalkwasser etc.), weicht also schon durch dieses Verhalten von Indigblau wesentlich ab. Der Farbstoff verfärbt sich alsbald auch spontan in der Zelle, relativ lange erhält er sich noch, wenn die Blätter im Wasser von 2—4° C. absterben und darin weiter belassen werden.

es dauert oft 3—4 Wochen, bevor der beblätterte Spross ganz abstirbt. Alle die hier besprochenen, niederen Temperaturen so wenig widerstandsfähigen Pflanzen haben ihre Heimat im Tropengürtel. *Episcia* und *Anoectochilus* in Java, *Sanchezia* in Ecuador, *Eranthemum tricolor* in Polynesien, *E. Couperi* in Neu-Caledonien und *E. igneum* in Peru.

Höchstwahrscheinlich dürften noch andere Pflanzenarten gefunden werden, welche sich in demselben Sinne wie unsere Versuchspflanzen als kälteempfindlich erweisen. Unter den tropischen Gewächsen wird man wohl am erfolgreichsten darnach suchen, doch ist nicht ausgeschlossen, dass sich derartige Pflanzen auch unter unseren einheimischen einjährigen Phanerogamen, ja vielleicht sogar unter den hohe Temperaturen liebenden Kryptogamen befinden.

Interessant ist, dass eine grosse Anzahl von Pflanzen, welche gleichfalls warmen Gebieten angehören, ohne Schädigung monatelang Temperaturen von 2 bis 5° C. mit einer Durchschnittstemperatur von etwa +3·5° C. widerstehen. Das Gewächshaus, in welchem ich die Versuche mit *Episcia* und den anderen früher angeführten Pflanzen anstellte, wurde von Mitte October 1895 bis 31. December 1895, also durch $2^1/_2$ Monate nicht geheizt. Da die Temperatur im Freien ziemlich gleichmässig war, nämlich in enger Amplitude um 0° herum schwankte, und da das Gewächshaus seiner Lage wegen directes Sonnenlicht nicht erhielt, so war die Temperatur im Inneren desselben ziemlich beständig; sie schwankte laut der Anzeige der Maximum- und Minimumthermometer stets zwischen +2 und +5° C. Während dieser Zeit wurden die Pflanzen nur spärlich begossen, und zwar nur so viel, um sie vor dem Welken zu bewahren. Die Luftfeuchtigkeit war, da das Gewächshaus mit Pflanzen der verschiedensten Art vollgefüllt war und nicht geheizt wurde, sehr gross, sie schwankte zwischen 93 und 99% und war durchschnittlich zumeist 98%.

Unter diesen Verhältnissen blieben folgende Topfpflanzen durch $2^1/_2$ Monate gesund: *Nicotiana tabacum*, *Curculigo recurvata*, *Begonia metallica*, *Abutilon* sp., *Dracaena rubra*, *Iusticia* sp., *Cineraria rugosa*, *Philodendron pertusum*,

Tradescantia guianensis, *Goldfussia iso-* und *anisophylla*, *Asplenium Belangeri*, *Selaginella Ludoviciana* und einige andere Species dieser Gattung, endlich *Latania bourbonica*.

III.

Ist nun nach den vorhergehenden Versuchen nicht mehr an der Thatsache zu zweifeln, dass es Pflanzen gibt, welche ganz unabhängig von ihrer Transpiration über Null erfrieren,[1] so bleibt noch die Frage zu erörtern, in welcher Weise die niedere Temperatur schädigt. Dieselbe könnte physikalische oder chemische Störungen im Protoplasten hervorrufen oder beide zugleich.

Dass durch die Abnahme der Temperatur bis auf Null störende Contractionen der lebenden Substanz eintreten sollten, welche einer normalen Function des Plasmas entgegenarbeiten, erscheint wohl von vorneherein nicht wahrscheinlich. Eher wäre noch daran zu denken, dass die osmotischen Eigenschaften der verschiedenen Zellorgane Änderungen erfahren oder dass Fällungen im Zellsaft eintreten, da ja bekanntlich zumeist mit fallender Temperatur auch die Löslichkeit für gewisse Stoffe abnimmt. Von solchen Fällungen war bei den Versuchspflanzen nichts zu bemerken.

Mir erscheint es viel wahrscheinlicher, dass die niedere Temperatur Störungen im Stoffwechsel hervorruft. Bekanntlich verlaufen gewisse chemische Reactionen nur innerhalb bestimmter Temperaturgrenzen. Die Entstehung des Chlorophylls, des Etiolins, die Athmung, die Kohlensäureassimilation und andere chemische Processe sind an eine gewisse Wärmemenge gebunden. Es ist ferner sicher, dass mit sinkender Temperatur bis knapp über den Nullpunkt in der Pflanze manche chemische Processe gehemmt oder vollends sistirt werden, während andere noch mit ziemlicher Intensität fortlaufen, wodurch eine Störung

---

[1] Ob es auch Thiere gibt, welche sich ähnlich wie unsere Versuchspflanzen verhalten, d. h. über Null erfrieren, darüber konnte ich trotz genauer Umschau in der Literatur keine Auskunft erhalten. Ich fand nur eine einzige der kritischen Nachprüfung werthe Angabe von Raoul Pictet vor, nach welcher in der Entwicklung sehr weit vorgeschrittene Ameisenpuppen bereits bei mehrstündiger Abkühlung auf +5° absterben. Biolog. Centralblatt, 1894. S. 303.

in dem harmonischen Zusammenwirken der in der Zelle sich abspielenden Einzelprocesse eintreten könnte. Zur Begründung des Gesagten will ich nur an die interessante Beobachtung[1] Hermann Müller's-Thurgau erinnern, welcher fand, dass Kartoffelknollen, welche längere Zeit bei niederen, knapp über Null liegenden Temperaturen gehalten werden, ihren Zuckergehalt bedeutend vermehren und in Folge dessen süss werden. Nach Müller finden in der Kartoffel zwei Vorgänge neben einander statt: die Entstehung des Zuckers aus Stärke durch ein Ferment und die Verathmung dieses Zuckers. Beide Vorgänge werden ihrer Natur entsprechend von niederer Temperatur verschieden stark beeinflusst, der Fermentationsprocess viel weniger als die Verathmung. Daher die Zuckeranhäufung. Wir haben also hier einen auffallenden Fall von der Beeinflussung des Stoffwechsels durch niedere Temperatur vor uns. Bei der Kartoffel wird nun allerdings ein Stoff angehäuft, welcher das Leben der Zelle nicht schädigt. Es steht aber der Vorstellung nichts im Wege, dass namentlich bei tropischen Pflanzen, welche nie Gelegenheit hatten, sich niederen Temperaturen anzupassen, unter der Einwirkung dieser, ein schädliches Stoffwechselproduct oder schädliche Producte desselben entstehen, welche bei gewöhnlicher Temperatur verbraucht werden, bei niederer aber sich ansammeln und eben deshalb das Protoplasma schädigen.

Wenn es nach dem Gesagten wohl sehr wahrscheinlich wird, dass das Erfrieren über Null (unabhängig von der Transpiration) auf durch niedere Temperatur hervorgerufene Störungen im chemischen Getriebe der lebenden Substanz zurückzuführen ist, so bin ich vorläufig doch ausser Stande, etwas Bestimmtes über die Art dieser Störungen auszusagen und muss dies vielmehr künftigen Untersuchungen überlassen.

---

[1] H. Müller, Thurgau, Ein Beitrag zur Kenntniss des Stoffwechsels in stärkehaltigen Pflanzenorganen. Botan. Centralblatt, 1892, S. 198.